
太陽電池パネル制御のための太陽光追尾センサシステムの開発

研究代表者 理工学研究部(工学) 丹保 豊和

(1) プロジェクトの背景・目的

厳寒の冬であっても太陽の日差しがあれば、気温が上がり、雪が溶ける。太陽はそれくらい大きなエネルギーを地球に注いでいる。この太陽エネルギーを如何に効率よく、電力に変換できるかは、今後の世界のエネルギー政策に大きく関わっている。平成 23 年当初の大きなニュースとして、東芝と東京電力が中心となり、日本政府の援助を請いながらもブルガリアに 1000 億円超の太陽光発電事業に乗り出すことが発表された。5 年後には 25 万キロワットを想定している。これくらい大規模になると、20%の効率アップができれば 5 万キロワットの電力を増やすことが出来る。黒四ダムの認可出力は 33.5 万キロワットであることを考えると、ブルガリアでの太陽光発電事業の規模の大きさを理解することができる。(参考までに能登原子力発電所の 1 号機の定格出力は 54 万キロワットであり、2 号機は 135.8 万キロワットである。)

一般にこの発電効率を上げるためには、技術面において、高性能デバイスの開発とソーラーシステムとしてのロスを減らすなどの努力がなされているが、その一方で、積極的に太陽の正面で太陽電池モジュールを発電させようとするには消極的である。そこには、固定台ではなく太陽に連動させるための雲台が必要となり、制御が必要となるからである。

良く知られていることであるが、産業社会は農耕時代から工業時代となり、今は、それらをベースとしながらも情報時代に入っている。それはものづくりの重要性を認めながらも情報機器を使ってその有効利用の必要性を唱えているものと理解される。

我々がこのたびプロジェクトとして取り上げた課題は、既存の太陽電池などを使い、その発電効率を如何に上げるか、そして、そのためにプログラムを開発し、パソコンや設計した電子回路を制御に積極的に取り入れることである。地球の鉱物資源を掘り尽くし、安価な太陽電池をたくさん並べれば良いと言う考えに行き詰まりは必ず来る。質を量で振り替える時代は必ず終わりが来る。そうなる前に、現存するものを効率よく使うシステムの開発つまり、量から質へ転換する情報化技術が必要となる。

太陽電池モジュールが太陽を追尾するのに 2 通りの方法がある。1 つは軌道計算により、雲台を制御して太陽電池モジュールを太陽の正面に向ける方法である。他の 1 つは光センサを用い、太陽光の強い方向に太陽電池モジュールを向ける方法である。それぞれ長所、短所がある。軌道計算により太陽電池モジュールを動かす場合、その動きに無駄がなく、太陽の軌道に沿って制御が可能である。しかし、空全体が曇っていても、太陽が山や近くのビルに隠れても、太陽の方位を追いかけている。それに対して、光センサを用いた場合、その設置箇所での一番明るい方向に太陽電池モジュールを向ける。その一方で、動きが多くなるために無駄な電力を使うとか、光センサと言う部品が増えると言うことが挙げられる。

確実なことは、太陽を正面にしていれば明るく暖かいのに対し、太陽を斜めや横で捉えたと明るさと暖かみが薄れる。太陽電池モジュールも同じであり、如何に正面で太陽を捉えるかが電力変換に大きく影響する。

研究成果に入る前に、太陽スペクトルの波長依存を図 1 に示す。これは AM1.5 のスペクトルであり、大気圏を最短距離の 1.5 倍の距離を通過し大気での吸収や散乱を受けてきたときのスペクトルである。図 1 の下部には可視光領域とシリコン太陽電池の吸収領域を示している。この図で理解できるように、シリコン系太陽電池で光電変換に利用している太陽エネルギーが非常に少ないことがわかる。

我々の研究目的は、すべての太陽エネルギーを効率よく電力に変換することにある。太陽スペクトルからわかるように、利用していないのは赤外領域である。この領域は熱エネルギーである。熱を電力に変換するには、固体素子として熱電モジュールがある。近々の目的としては、光センサを用いて太陽光を追尾し、雲台に載せた太陽電池モジュールの光電発電システムを確立し、雲台に載せた熱電モジュールの熱電発電システムを作り上げることにある。そして、最終的には太陽光すべての波長エネルギーを電力に換えるべく、光電熱電ハイブリッド発電システムを構築することにある。

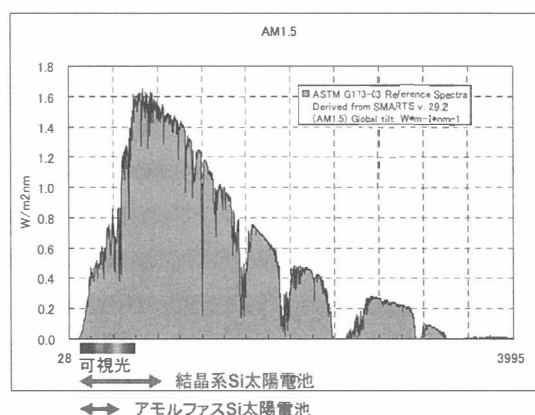


図 1. 太陽スペクトル

(2)研究成果

我々は平成 20 年に、5 個のフォトダイオードを四角錐台に取り付けた SPD 光センサを開発し特許出願をしている。(図 2 参照) この光センサの機能は①固定して設置することにより、単一光源あるいは一番明るい方向をサーチし、その方位を情報として示すことができる。(平成 21 年度) ②雲台に搭載することにより、一番明るい方向を追尾することが出来、その方位を情報として示すことができる。この場合、一番上のフォトダイオードが基準となり、快晴の太陽から、曇り空での光強度が小さいところでも正確に追尾する機能を持っている。(平成 22 年度) ③さらに、光センサによる太陽の方位と軌道上の太陽の方位とを比較して、光センサを搭載している雲台の角度誤差を示すことが出来る。(平成 22 年度) 我々はこれら太陽光サーチ機能、太陽光追尾機能、傾斜測定機能を SPD 光センサの 3 つの機能として主張している。

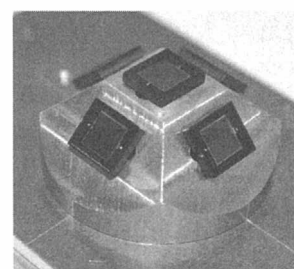


図 2. SPD 光センサ

この光センサと太陽電池と雲台とを組み合わせたシステムを図 3 に示す。太陽電池の大きさは 25cm 角であり、雲台には方位角(東西南北)と仰角(太陽高度)を調整するために 2 個のステッピングモーター取り付けられている。図では SPD 光センサがはずされているが、仰角のモーターの軸上の反対側に設置する。モーター制御のための基本的な動作は、①SPD 光センサから 5 個のフォトダイオードの出力を得て、②オペアンプで増幅し、③AD コンバーターでデジタル信号に直し、④

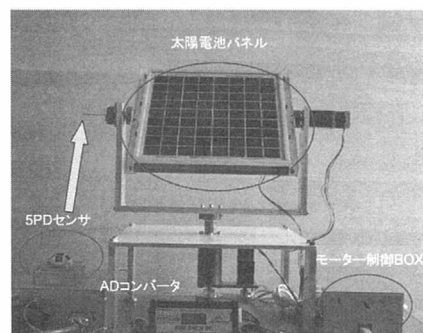


図 3. 太陽光電発電システム

USB ケーブルでノートパソコンに取り込む。⑤パソコン内では、追尾するために 5 個のフォトダイオードのうち側面の相対する 2 個のフォトダイオードの光電流の差分を取り、⑥その差分がゼロになるように、パルスモーターに信号を送り、⑦雲台は小さなフォトダイオード出力の方向に太陽電池モジュールを回転する。この①～⑦の繰り返しで太陽光を追尾する。太陽光の強さは快晴から曇天まで大きく変化する。2 個のフォトダイオードの差分も天候により大きく異なる。5 番目のフォトダイオードはセンサ上部に取り付けられており明るさの基準出力となる。具体的には⑤で差分を取った後、5 番目のフォトダイオードの基準出力で除し、差分の比でモーターを制御している。

本プロジェクトを開始した平成 22 年度において、KELK 社のご好意により、市販されていない BiTe 系の熱電モジュールを入手することが出来た。これは 5cm 角の大きさをしており、280 度 - 30 度の温度差で 24W の電力を発生し、その時の変換効率として 7.2% の定格を持っている。これは図 1 で示した赤外線波長エネルギー領域を積極的に電力に変換するための熱電変換デバイスとして期待しているものである。光センサを用い太陽光追尾技術を備えた熱電発電システムの全体像については図 4 に示す。熱電モジュールの高温側に十分な太陽熱を得るためフレネルレンズを用い、その有効レンズ径は 400×450mm である。作成したシステムの大きさは光電発電システムより大きくなっており、熱電モジュールの低温側を冷やすための水冷装置を含め仰々しくなっている。その詳細については別記に譲る。

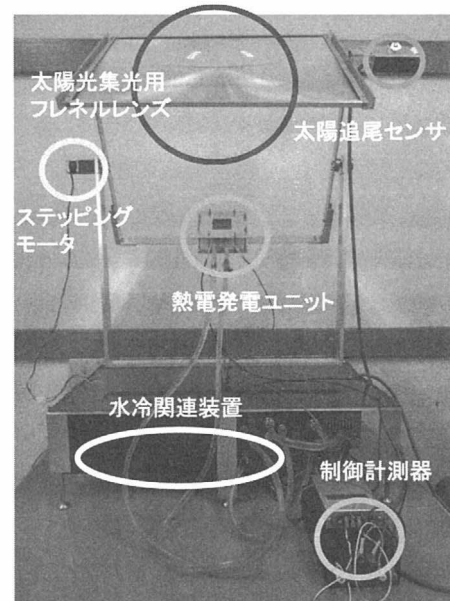


図 4. 太陽熱電発電システム

プロジェクトにあげる前の平成 21 年度までは、制御のためのプログラムは Visual Basic 6.0 を用いていた。これは、AD コンバータやモーターユニットコントローラと通信するのに実績のあるプログラム言語を選んだためである。しかし、Visual Basic 6.0 は数年前から、マイクロソフト社の Visual Studio にサポートされなくなり、遂に、windows7 上では Visual Basic 6.0 で開発したプログラムを動作させることが出来なくなった。そのため平成 22 年度に、プログラムを、Visual Studio 2010 に包括されている VB.net に乗せ替えることとなった。それにあわせて、太陽軌道計算の精度を挙げ、MPPT(maximum power point tracking)のプログラムと必要なデータロガーなどの電子回路を組み上げた。この MPPT を実行するために、最初に①太陽電池の負荷として組み込んだ MOSFET (metal-oxide-semiconductor field-effect-transistor) のゲート電圧を調整することにより、太陽電池の負荷を変え、

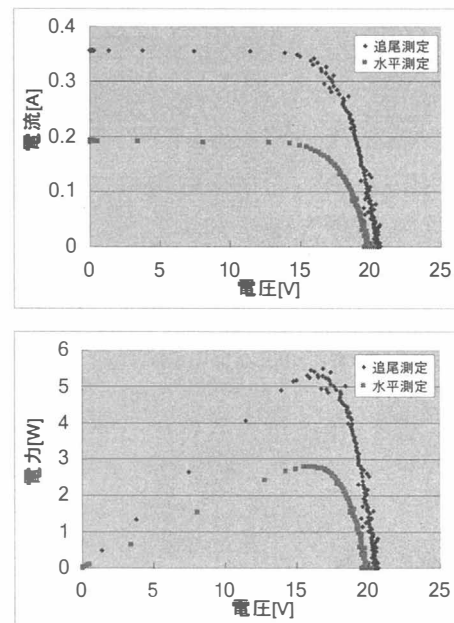


図 5. 電流電圧及び電力電圧特性

データロガーを用いて電流電圧特性を測定する。②得られた電流電圧値の積を求め、最大電力が得られるゲート電圧を求める。③そのゲート電圧で充電回路に電力を送ることになる。

図 5 に電流電圧特性とそのときの電力の一例を示す。上の図は電流電圧特性を示し、下の図は電力電圧特性を示す。この図から最大電力点がわかる。また、図の中に青色のデータと赤色のデータが示されている。青色は 5PD 光センサで追尾したときの特性を示しており、赤色は太陽電池を水平に設定したときの特性を示している。これは平成 22 年の 12 月 6 日の 11 時 47 分のデータであるが、最大電力点からみると、追尾したほうが水平設置より 2 倍弱の電力が得られていることがわかる。追尾の意義が十分にわかるデータである。因みに、熱電モジュールの場合、最大電力は常に開放電圧の半分の電圧値で得られることを実験で確認した。

図 6 に VB.net で作成した制御プログラムのメニュー画面を示す。5 個のフォトダイオードの出力のモニターはもちろん、太陽軌道計算プログラムも含まれており、太陽方位に太陽電池モジュールを向けることも出来る。測定の全自動化のプログラムも組み込まれている。更に、太陽電池の水平動作や南 30 度傾斜の設定をも可能にしている。

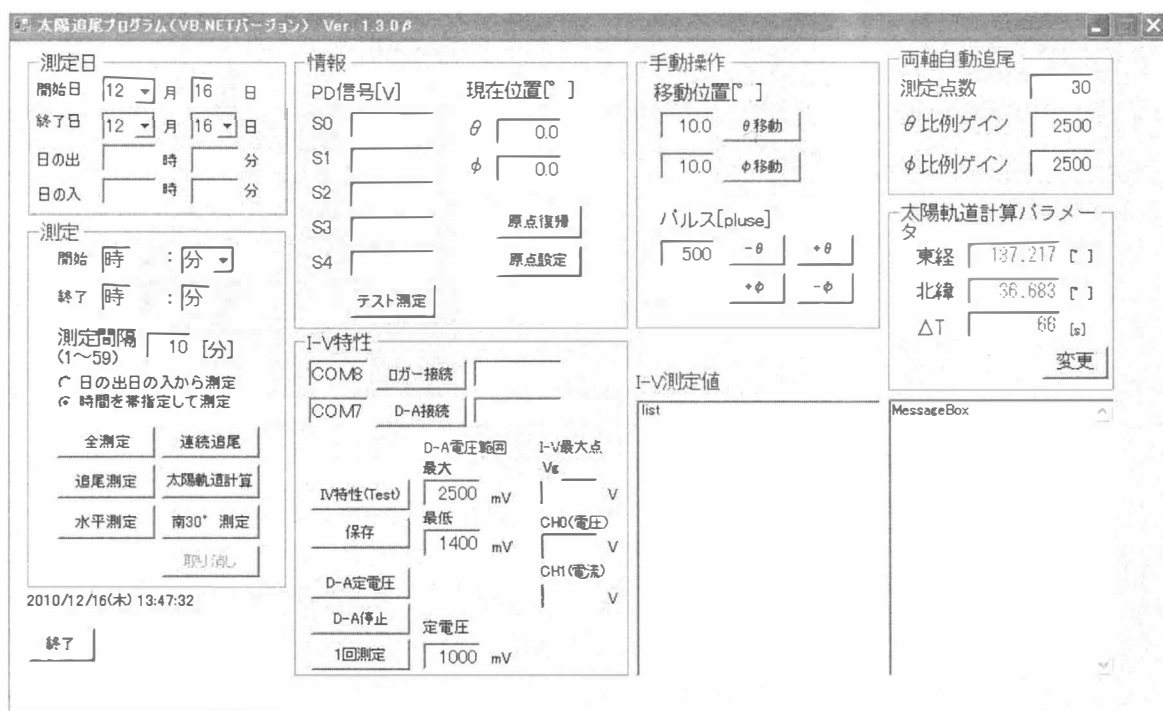


図 6. 制御プログラムのメニュー画面

(3)最後に

以上のように、個々の光電発電システムと熱電発電システムについて、光センサを用いた太陽追尾システムを構築し、それぞれ、屋外での実証テストを進めている。

平成 23 年度は、さらなる実証研究を進め、太陽電池モジュールと熱電モジュールによる光電熱電ハイブリッド発電システムの開発を計画している。

(4)その他

平成 22 年度については特許、起業、技術移転等はなく、応用・効果・構想については協力企業がない状態である。VBL 施設には本プロジェクト実施のための装置はそろっていない。